

# BEST AVAILABLE COPY

IN THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE

JC971 U.S. PTO  
09/882027  
06/18/01

Applicant(s): KIM, Ki Seon et al.

Application No.:

Group:

Filed: June 18, 2001

Examiner:

For: SIGNAL RECEIVER OF OFDM SYSTEM AND METHOD FOR RECEIVING  
SIGNALS THEREOF

## LETTER

Assistant Commissioner for Patents  
Box Patent Application  
Washington, D.C. 20231

June 18, 2001  
2832-0137P

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55(a), the applicant hereby claims the right of priority based on the following application(s):

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Filed</u>
REPUBLIC OF KOREA	2001-20223	04/16/01

A certified copy of the above-noted application(s) is(are) attached hereto.

If necessary, the Commissioner is hereby authorized in this, concurrent, and future replies, to charge payment or credit any overpayment to deposit Account No. 02-2448 for any additional fees required under 37 C.F.R. 1.16 or under 37 C.F.R. 1.17; particularly, extension of time fees.

Respectfully submitted,

BIRCH, STEWART, KOLASCH & BIRCH, LLP

By: 

TERRY L. CLARK  
Reg. No. 32,644  
P. O. Box 747  
Falls Church, Virginia 22040-0747

Attachment  
(703) 205-8000  
/sl

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

BEST AVAILABLE COPY

대한민국 특허청  
KOREAN INTELLECTUAL  
PROPERTY OFFICE

KIM, Ki Seon et al.

June 18, 2001

BSKB, LLP

(703) 205-8000

2032-0137P

10f 1

JC971 U.S. Pat. & Tm. Off.

09/882027



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원번호 : 특허출원 2001년 제 20223 호  
Application Number

출원년월일 : 2001년 04월 16일  
Date of Application

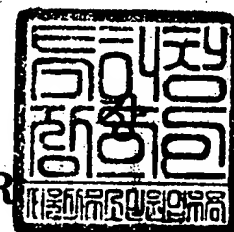
출원인 : 광주과학기술원  
Applicant(s)



2001 년 05 월 04 일

특허청

COMMISSIONER





919980002383



10111010000000000000

방 식 심 사 관	담	당	심	사	관

【서류명】 특허출원서

【권리구분】 특허

【수신처】 특허청장

【제출일자】 2001.04.16

【국제특허분류】 H04L

【발명의 국문명칭】 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 신호 수신단 및 그  
신호 수신방법

【발명의 영문명칭】 A Signal Receiver of an OFDM System and Methods

【출원인】

【명칭】 광주과학기술원

【출원인코드】 3-1998-099381-5

【대리인】

【성명】 박병창

【대리인코드】 9-1998-000238-3

【포괄위임등록번호】 2000-071399-0

【발명자】

【성명의 국문표기】 김기선

【성명의 영문표기】 KIM,Ki Seon

【주민등록번호】 560827-1489415

【우편번호】 500-480

【주소】 광주광역시 북구 오룡동 1번지 정보통신공학과

【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 김현재

【성명의 영문표기】 KIM,Hyun Jae

【주민등록번호】 730107-1149531

【우편번호】 420-020

【주소】 경기도 부천시 원미구 중동 5-1 은하마을 505동 902호

【국적】 KR

【심사청구】 청구

【취지】 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다.

대리인

박병창 (인)

【수수료】

【기본출원료】 20 면 29,000 원

【가산출원료】 5 면 5,000 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】 9 항 397,000 원

【합계】 431,000 원

【감면사유】 정부출연연구기관

【감면후 수수료】 215,500 원

【첨부서류】 1.요약서·명세서(도면)\_1통

## 【요약서】

### 【요약】

본 발명은 OFDM 시스템에서 신호를 수신하는 OFDM 시스템의 신호 수신단 및 그 신호 수신방법에 관한 것으로서, 특히 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 신호 수신단 및 그 신호 수신방법은 심볼단위로 구성되는 OFDM 시스템의 수신신호로부터 연속적인 데이터를 추출/연산/저장하고 그에 따라 연속적인 심볼의 위상차이를 고려함으로써 랜덤 신호에 따른 에러를 줄이고 효과적으로 상기 수신신호의 주파수 옵셋을 제거하는 동시에 동기화시키는 에러신호를 생성하는 위상동기루프의 에러탐지기를 통해, OFDM 시스템에서 사용하는 보호구간 데이터 길이로 인하여 상기 OFDM 시스템에서 충분한 성능이 나오지 않거나 상기 OFDM 시스템에서 요구되는 주파수 효율성이 상대적으로 높은 경우 성능이 향상된 OFDM 시스템을 제공할 수 있는 효과가 있다.

### 【대표도】

도 3

### 【색인어】

OFDM 시스템, 에러탐지기, 위상동기루프, 심볼, 보호구간

## 【명세서】

### 【발명의 명칭】

직교 주파수 분할 다중화 시스템의 신호 수신단 및 그 신호 수신방법{A  
Signal Receiver of an OFDM System and Methods}

### 【도면의 간단한 설명】

도 1은 기존 OFDM 시스템의 신호 수신단의 구성이 도시된 도,  
도 2는 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 신호 수신단의 구성이 도시된 도,  
도 3은 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 신호 수신방법의 흐름이 도시된 도,  
도 4는 도 3의 순서에 따라 외부 수신신호를 가산하는 과정이 블록으로 도시  
된 도,

도 5는 도 2에 도시된 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 신호 수신단의 등가 회  
로의 구성이 도시된 도,

도 6,7은 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 신호 수신단과 기존의 OFDM 시스템  
의 신호 수신단과의 성능을 비교하는 시뮬레이션 결과가 도시된 그래프이다.

<도면의 주요 부분에 관한 부호의 설명>

### 【발명의 상세한 설명】

### 【발명의 목적】

## 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

본 발명은 OFDM 시스템의 신호 수신단 및 그 신호 수신방법에 관한 것으로서, 특히 OFDM 시스템의 수신신호에서 사용되는 보호구간의 길이로 인하여 충분한 성능이 나오지 않거나 요구되는 주파수 효율성이 상당히 높은 경우에 사용 가능한 OFDM 시스템의 신호 수신단 및 그 신호 수신방법에 관한 것이다.

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexer)은 주파수 전송방식 중의 하나인 직교 주파수 분할 다중화 전송방식으로써 디지털 신호 전송에 있어서 다중 캐리어 변조방식의 일종이다. 특히, OFDM은 캐리어 데이터 송신에서 사용하는 주파수 대역을 사용하면서 송수신신호를 이루는 긴 심볼 주기 기간에 병렬로 데이터를 다수의 서브 캐리어에 실어서 전송하는 방식이다. 따라서, OFDM 기술은 무선 채널 환경에서 신호의 지연 확산효과를 완화시키기 위하여 효과적으로 사용되는 기술이다.

하지만, OFDM은 캐리어 주파수 오프셋(Offset)에 아주 민감하다. 즉, OFDM 시스템의 송신기와 수신기의 오실레이터 사이에 미세한 주파수 에러가 존재한다면 이는 부채널간의 직교성을 파괴함으로써 전체 OFDM 시스템의 성능을 현저하게 저하시킨다.

따라서, OFDM 시스템에서는 채널간의 직교성을 유지하기 위하여 완벽한 주파수 동기가 요구된다. OFDM 시스템의 주파수 오프셋 제거를 위한 과정은 크게 부채널 간격의 정수배에 해당하는 대체적인 주파수 오프셋을 추정하는 광폭 추정단계와 잔류

주파수 오류를 추정하는 미세 추정단계로 이루어진다.

OFDM 시스템의 수신단에서 주파수 에러는 주파수 에러추적기가 제공하는 주파수 에러 추정값을 이용하여 추적루프를 통해 제거된다. 일반적으로 주파수 동기를 위해 사용되는 주파수 에러추적기는 파일럿을 사용하는 주파수 에러추적기와 보호구간을 사용하는 주파수 에러추적기로 나뉜다.

파일럿을 사용하는 주파수 에러추적기는 수신신호를 동기화하는 위상동기루프(1)와, 상기 동기화된 신호를 패러럴신호로 변환하는 S/P(Serial/Parallel)변환부(2)와, 상기 변환된 신호를 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)시키는 푸리에 변환부(3)와, 상기 푸리에 변환된 신호의 진폭과 위상을 변조하는 QPSK()부(4)와, 상기 변조된 신호를 다시 시리얼신호로 변환하는 P/S변환부(5)로 이루어진 OFDM 시스템의 수신단이 도시된 도 1에서 일반적으로 푸리에 변환부(3) 이후의 파일럿 데이터를 주파수 오프셋 추정에 이용한다.

반면, 보호구간 주파수 에러추적기는 파일럿 데이터 없이 보호구간의 데이터를 이용하여 주파수 오프셋을 제어함으로써 파일럿을 사용한 주파수 에러추적기에 비해 주파수 효율성이 더 좋고 구현 시 복잡도가 더 낮은 장점을 가지고 있다. 즉, 보호구간을 이용한 주파수 에러추적기는 위치 A의 지점에서, 즉 S/P변환기(2) 전단에서 보호구간 데이터를 이용하여 에러신호를 생성하고 멀티플렉서(1a)와, 아날로그/디지털 변환기(1b)와, 에러탐지기(1c)와, 디지털/아날로그 변환기(1d)와, 루프 필터(1e)와, VCO(1f)로 구성되는 PLL(Phase-Locked Loop)인 위상동기수단(1)을 통하여 생성된  $e^{-j2\pi f_c t}$ 를 상기 멀티플렉서(1a)를 이용하여 입력되는



수신신호에 곱함으로써 주파수 에러를 제거한다.

기존의 보호구간을 이용하는 주파수 에러추적기의 에러신호 생성식은 다음과 같다.

【수학식 1】

$$e_1(l) = \frac{1}{2\pi T} \angle \left\{ \sum_{i=1}^L r_{l,N-l} r_{l,l}^* \right\}$$

【수학식 2】

$$e_2(l) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \text{Im}(r_{l,N-l} r_{l,l}^*)$$

여기서,  $\angle(\cdot)$ 은  $(\cdot)$ 의 각을,  $\text{Im}(\cdot)$ 은  $(\cdot)$ 의 허수값을,  $L$ 은 에러신호  $e(l)$ 를 추정하기 위해 사용되는 보호구간 데이터의 수를 의미한다.

수학식 1을 이용하는 기존의 제1 에러추적기(Guard Interval Based Frequency Error Detector; GIB FED-I)는 보호구간 데이터와  $N$ 개의 데이터 개수만큼 떨어져 있는 이용 가능한 데이터 사이의 위상차를 이용하여 에러신호를 생성한다. 반면, 수학식 2를 이용하는 기존의 제2 에러추적기(GIB FED-II)는 보호구간 데이터와  $N$ 개의 데이터 개수만큼 떨어져 있는 이용 가능한 데이터 사이의 허수부분의 정보를 이용하여 에러신호를 생성한다.

하지만, 다중경로 채널에서는 보호구간의 데이터들이 이전의 심볼과 간섭을 일으키는 ISI(Inter-Symbol Interference)를 발생시킴으로 OFDM 시스템의 성능이 주어진 보호구간의 길이에 따라 다르다. 즉, 사용되는 보호구간의 길이가 충분하지 않을 경우, 혹은 요구되는 주파수 효율성이 상대적으로 높은 경우 원하는 성능의

OFDM 시스템을 제작하기 어렵다는 문제점이 있다.

#### 【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

본 발명은 상기한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 그 목적은 심볼단위의 OFDM 시스템 수신신호 중 보호구간 데이터를 통해 에러신호를 생성하는 다중 보호구간 주파수 에러탐지기(Multiple-Guard Interval Based Frequency Error Detector; M-GIB FED)를 이용하여 성능이 뛰어난 OFDM 시스템의 신호 수신단 및 그 수신방법을 제공하는데 있다.

#### 【발명의 구성】

상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 의한 OFDM 시스템의 신호 수신단에 따르면, 심볼단위로 구성되는 수신신호 중 연속되는 데이터를 이용하여 에러신호를 발생시키고 상기 에러신호에 따라 상기 수신신호를 동기화시키는 위상동기루프와, 상기 위상동기루프를 통해 동기화된 신호를 패러럴신호로 변환하는 S/P(Serial/Parallel)변환기와, 상기 S/P변환기를 통해 패러럴신호로 변환된 신호를 푸리에(Fourier) 변환시키는 푸리에 변환수단과, 상기 푸리에 변환수단을 통해 변환된 신호의 진폭과 위상을 변조하는 신호변조수단과, 상기 신호변조수단을 통해 변조된 신호를 시리얼신호로 변환하는 P/S변환기로 구성된다.

또한, 본 발명에 의한 OFDM 시스템의 신호 수신방법에 따르면, 심볼단위로 구성되는 OFDM 시스템의 수신신호 중 연속되는 데이터에 따라 에러신호를 발생하는

제1 단계와, 상기 제1 단계에서 발생한 에러신호에 따라 상기 수신신호의 옅셋을 제거하고 동기화시키는 제2 단계와, 상기 제2 단계에서 동기화된 수신신호의 진폭 및 위상을 변조하여 상기 OFDM 시스템에서 처리 가능하도록 하는 제3 단계로 이루어진다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

본 발명에 의한 OFDM 시스템의 신호 수신단은 도 2에 도시된 바와 같이, 심볼단위의 OFDM 시스템 외부 수신신호 중 연속되는 데이터를 저장하는 버퍼(13)를 통해 에러신호를 생성하고 상기 에러신호에 따라 상기 수신신호의 옅셋을 제거하고 동기화하는 위상동기루프(10)와, 상기 위상동기루프(10)를 통해 옅셋이 제거되고 동기화된 신호를 패러럴신호로 변환하는 S/P변환기(22)와, 상기 S/P변환기(22)를 통해 변환된 신호를 푸리에 변환시키는 푸리에 변환수단(Fast Fourier Transform; FFT, 23)과, 상기 푸리에 변환된 신호가 상기 OFDM 시스템에서 처리 가능하도록 진폭과 위상을 QPST() 방식에 따라 변조시키는 신호변조수단(24)과, 상기 신호변조수단(24)을 통해 변조된 신호를 시리얼신호로 변환하여 OFDM 시스템으로 출력하는 P/S변환기(25)로 구성된다.

여기서, 상기 위상동기루프(10)는 상기 발생된 에러신호에 따라 외부 수신신호의 주파수 옅셋을 제거하는 멀티플렉서(11)와, 상기 멀티플렉서(11)를 통해 주파수 옅셋이 제거된 신호를 디지털신호로 변환하여 상기 S/P변환기(22)로 출력하는

A/D(Analog/Digital)변환기(12)와, 상기 A/D변환기(12)를 통해 출력되는 상기 수신 신호의 연속적인 데이터를 가산하여 상기 수신신호 위상차에 따라 상기 에러신호를 생성하는 에러탐지기(14)와, 상기 에러탐지기(14)에서 생성된 에러신호를 아날로그 신호로 변환하는 D/A변환기(15), 상기 D/A변환기(15)를 통해 변환된 아날로그신호를 DC로 변환하는 루프필터(16)와, 상기 루프필터(16)를 통해 변환된 DC에 따라 상기 에러신호를 동기화시켜 상기 멀티플렉서(11)로 수신되는 외부 수신신호의 주파수 오프셋이 제거되도록 하는 동시에 동기화되도록 하는 VCO(Voltage-Controlled Oscillator;17)로 구성된다.

특히, 상기 에러탐지기(14)는 상기 A/D변환기(12)를 통해 출력된 심볼단위의 수신신호 중 I-1번째 심볼의 보호구간 데이터와 실제이용 데이터가 가산된 제1 결과값을 저장하는 동시에 상기 제1 결과값이 상기 수신신호의 I번째 심볼의 보호구간 데이터와 실제이용 데이터가 가산된 제2 결과값과 가산된 제3 결과값을 저장하는 적어도 하나 이상의 버퍼(13)를 포함하여 구성된다.

상기와 같이 구성된 본 발명의 동작을 도 3을 참고로 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 제1 단계에서 외부로부터 수신된 심볼단위의 OFDM 시스템 수신신호 중 I-1번째 심볼의 L개의 보호구간 데이터와 L개의 실제이용 데이터가 상기 에러탐지기에서 각각 곱해지고 더해진 후 그에 따른 제1 결과값이 상기 버퍼에 저장된다.

(S1)

제2 단계에서 외부로부터 수신된 심볼단위의 OFDM 시스템 수신신호 중 I번째

심볼의  $L$ 개의 보호구간 데이터와  $L$ 개의 실제이용 데이터가 상기 에러탐지기에서 각각 곱해진 후 더해져 제2 결과값이 발생한다. (S2)

제3 단계에서, 상기 에러탐지기는 상기 제2 결과값을 상기 버퍼에 저장된 상기 제1 결과값과 더함으로써 제3 결과값을 발생시킨다. (S3)

제4 단계에서, 상기 제3 단계의 제3 결과값에 따라 외부 수신신호 중 두 개의 연속적 심볼의 위상변환에 따른 에러신호가 상기 에러탐지기 및 상기 루프필터 및 상기 VOC를 통해 발생된다. (S4)

제5 단계에서, 상기 제4 단계에서 발생된 에러신호에 따라 상기 멀티플렉서로 수신된 외부 수신신호의 주파수 옵셋이 제거되고 동기화된다. (S5)

제6 단계에서, 상기 위상동기루프를 통과한 수신신호가 상기 S/P변환기를 통해 패러럴신호로 변환된다. (S7)

제7,8 단계에서, 상기 제6 단계에서 패러럴신호로 변환된 상기 수신신호가 상기 푸리에 변환수단 및 상기 신호변조수단을 통해 푸리에 변환된 후 그 진폭과 위상이 상기 OFDM 시스템에서 처리 가능하도록 변조된다. (S8)

제9 단계에서, 상기 제7,8 단계에서 변환/변조된 외부 수신신호가 상기 P/S 변환기를 통해 시리얼신호로 변환된 후 상기 OFDM 시스템으로 출력된다. (S9)

여기서, 도 4에 도시된 바와 같이,  $I-1$ 번째 심볼과  $I$ 번째 심볼은 각각  $N_g$ 개의 보호구간 데이터(GI)와,  $N$ 개의 실제사용 데이터(Data)로 이루어진다. 본 발명에 의한 OFDM 시스템의 신호 수신방법에서는 상기 보호구간 데이터와 실제사용 데이터

중 L개의 데이터를 각각 취하여 곱한 후 서로 더하여 그에 따라 연속되는 심볼의 위상차에 따른 에러신호를 생성한다.

본 발명에 따른 에러탐지기를 바탕으로 다중 보호구간을 이용하는 에러신호의 일반화된 형태는 다음 수학적식 3, 4와 같다.

【수학적식 3】

$$e_{1M}(l) = \frac{1}{2\pi T} \angle \left\{ \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{l=1}^L (r_{l-m, N-l} \times r_{l-m, l}^*) \right\}$$

【수학적식 4】

$$e_{2M}(l) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{l=1}^L \text{Im}(r_{l-m, N-l} \times r_{l-m, l}^*)$$

여기서, 상기 M은 이전 심볼의 보호구간 데이터를 저장하기 위하여 사용되는 버퍼의 수이다. 또한, 상기  $r_{a,b}$ 는 a 번째 심볼의 실제사용 데이터 중 b 번째 데이터를, 상기  $r_{a,b}^*$ 는 a 번째 심볼의 보호구간 데이터 중 b 번째 데이터를 나타낸다.

만일, OFDM 시스템에서 사용되는 데이터의 수가 증가되면 주파수 지터는 더해진 노이즈에 의해 증가된다. 즉, 결과적으로 상기 수학적식 4에 따른 에러신호를 수렴하지 않는 반면, 수학적식 3에 따른 에러신호는 주파수 지터를 평균화하여 제거한다.

따라서, 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 수신단에서는 상기 수학적식 3에 따른 에러신호를 사용하는 것이 바람직하다. 특히, 구현하고자 하는 시스템의 복잡도와 요구되는 성능사이에는 상관관계인 트레이드 오프(Trade-off)가 존재하므로 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 수신단에서는 두 개의 버퍼를 사용하는 것이 바람직하다.

두 개의 버퍼를 사용하는 경우  $M=2$ 이며 이에 따른 에러탐지기의 에러신호는 다음 수학적 식 5와 같이 주어진다.

【수학적 식 5】

$$e_{IM}(D) = \frac{1}{2\pi T} \angle \left\{ \sum_{l=1}^L (r_{I,N-I} \times r_{I-1,I}^* + r_{I-1,N-I} \times r_{I-1,I-1}^*) \right\}$$

상기 수학적 식 5에 따라 도 2를 참고로 살펴보면,  $r_{I,N-2}$ 는 상기 I번째 심볼의 보호구간 데이터 중 가로로 빗금이 그어진 데이터를 가리키며,  $r_{I-2}^*$ 는 상기 I번째 심볼의 보호구간 데이터 중 가로로 빗금이 그어진 데이터를 가리킨다. 또한,  $r_{I,N-3}$ 는 상기 I번째 심볼의 보호구간 데이터 중 세로로 빗금이 그어진 데이터를 가리키며,  $r_{I-3}^*$ 는 상기 I번째 심볼의 보호구간 데이터 중 세로로 빗금이 그어진 데이터를 가리킨다.

상기의 수학적 식 5에 따라 본 발명에 따른 OFDM 시스템에서는 보호구간 데이터 및 연속적인 OFDM 심볼의 실제이용 데이터를 이용하여 랜덤 신호에 따른 에러를 줄일 수 있다. 즉, 두 개의 연속적 심볼의 위상변화를 고려함으로써 성능 향상을 얻을 수 있다.

상기와 같이 구성되고 동작하는 본 발명에 따른 OFDM 시스템의 신호 수신단 및 그 신호 수신방법의 성능을 분석한 바는 다음과 같다.

먼저, AWGN() 채널에서 Steady-state 성능을 분석하기 위해 도 4에 도시된

바와 같은 등가 디지털 모델을 사용한다. 도 5에서,  $f(1)$ 은 입력 주파수,  $f(1)$ 은 VCO의 출력 주파수,  $v(1)$ 은 랜덤 zero-mean 노이즈,  $k_d$ 는 주파수 에러탐지기의 이득,  $G(z) = \frac{k_z z^{-1}}{1 - z^{-1}}$ 은 디지털 루프 필터 전달 함수블록(28)이고  $K_1$ 은 필터(29a, 29b) 이득이다. Spectral 분석을 이용하여 VCO의 출력에서 Steady-state 주파수 지터  $\sigma_v^2$ 는 다음과 같이 주어진다.

【수학식 6】

$$\sigma_v^2 = \int_{-1/2T}^{1/2T} \frac{S_v(f)}{k_d^2} |H(e^{j2\pi f T})|^2 df$$

실제의 경우,  $S_v(f)$ 은 원점 주변의 범위  $\pm B_L$ 에서 거의 평평하므로  $S_v(f)$ 을  $S_v(0)$ 라고 가정할 수 있고 이는  $v(1)$ 의 분산과 같게 된다. 수학식 5를 이용하여 정규화된 Steady-state 노이즈를 다음과 같이 표현할 수 있다.

【수학식 7】

$$v(l) = \frac{1}{\varepsilon(l)} - \varepsilon = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{Im} \left\{ \sum_{i=1}^L (r_{I,N-l} \times r_{I-1,l}^* + r_{I-1,N-l} \times r_{I-1,l}^*) e^{-j2\pi \varepsilon} \right\}}{\text{Re} \left\{ \sum_{i=1}^L (r_{I,N-l} \times r_{I-1,l}^* + r_{I-1,N-l} \times r_{I-1,l}^*) e^{-j2\pi \varepsilon} \right\}} \right\}$$

여기서  $\frac{1}{\varepsilon(l)}$ 와  $\varepsilon(l)$ 는 각각 I번째 OFDM 심볼에서 정규화된 추정 주파수 오프셋과 실제 오프셋을 나타낸다.  $\frac{1}{\varepsilon(l)} - \varepsilon(l) \approx 0$ 이며  $L$ 이 충분히 클 때 탄젠트 함수는 argument로 근사화 할 수 있다. 높은 신호대 잡음비에서 상기 수학식 7은 다음과 같이 표현된다.



【수학식 8】

$$|e(I) - \bar{e}(I)| \cong \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\text{Im} \left\{ \sum_{l=1}^L (\Delta) \right\}}{\sum_{l=1}^L (|S_{I,N-l}|^2 + |S_{I-1,N-l}|^2)} \right\}$$

여기서

$$\Delta = S_{I,N-l} W_{I-l}^{*} + S_{I,N-l}^{*} W_{I-l} e^{j-2\pi\epsilon} + S_{I-1,N-l} W_{I-1-l}^{*} + S_{I-1,N-l}^{*} W_{I-1-l} e^{j-2\pi\epsilon}$$

고,  $S_{I,n} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_{I,k} e^{j2\pi nk/N}$ ,  $w_{I,n}$ 은 I번째 OFDM 심볼에서 n번째 부채널의 AWGN이

다. 마지막으로  $\sigma_s^2 = \frac{N-N_v}{N} \sigma_x^2$ 의 관계를 이용하면 다음과 같다.

【수학식 9】

$$\sigma_{\epsilon}^2 = \frac{1}{2L} \frac{N}{N-N_v} \frac{1}{(2\pi)^2} \frac{1}{SNR} 2B_L T$$

여기서  $B_L = \int_0^{1/2T} |H(e^{j2\pi fT})|^2 df$ 은 PLL 노이즈 주파수 폭으로 정의되며,  $N_v$ 는

aliasing을 막기 위해 사용되는 부채널의 수를 의미한다.

본 발명에 따른 OFDM 시스템의 신호 수신단의 에러탐지기의 성능은 다음사례와 같다. 도 4는 Steady-state 에서  $E_b/N_0=15\text{dB}$ ,  $L=4$ 일때 정규화된 주파수 지터에 PLL 노이즈 주파수폭  $B_L T$ 에 대한 그래프이다. AWGN 채널에서 제안된 본 발명에 따른 M-GIB FED의  $\sigma_{\epsilon}^2$ 는 약 2.3~2.5배 기존의 GIB FED-I보다 낮으며 1.7~2.3 배 기존의 GIB FED-II 보다 낮음을 알 수 있다. 다중경로 채널에서 에러탐지기의  $\sigma_{\epsilon}^2$ 는 AWGN 채널에서보다 약 1.3~1.6배 더 높았다.

다중경로 채널에서는  $L$ 길이의 증가에서 불구하고 에러탐지기는 floor effect로 제한된 값을 갖는다. 왜냐하면  $L$ 이 증가함에 따라 ISI에 의한 노이즈 역시 증가하기 때문이다. 따라서 시스템을 설계시 적당한  $L$ 의 길이를 선택하는 것이 매우 중요할 것이다. 155 Mbps를 지원하기 위해서는,  $E_s/N_0=15$  dB 및  $B_L T=0.1$ 일 때  $\sigma^2_{\sqrt{T}}=10^{-4}$ 를 만족하기 위한 적정  $L$ 의 길이는 GIB FED-I, GIB FED-II, M-GIB FED에 대해 각각 5, 3, 2 이다.  $L=8$ 일 때 본 발명에 따른 M-GIB FED의  $\sigma^2_{\sqrt{T}}$ 는 약 2.1배 GIB FED-I보다 낮으며 2.1 배 GIB FED-II 보다 낮다.

도 6은  $E_s / N_0=15$  dB 및 데이터 심볼 길이  $L=3$ 일 때 에러탐지기의 평균 획득 시간에 대한 결과도를 나타낸다.  $\sigma^2_{\sqrt{T}}=10^{-4}$ 를 만족하는 PLL의 파라미터 값을 선택하였으며 초기 정규화된 주파수 오프셋  $\Delta f T=0.5$ 로 가정하였다. 결과도로부터 본 발명에 따른 M-GIB FED는 0.01보다 낮은 잔류 주파수 오프셋  $\Delta f T$ 을 유지하기 위해 10개의 심볼이 필요하다는 것을 알 수 있다. 다중경로 채널에서 M-GIB FED는 GIB FED-I보다 약 1.8배 빠르게 수렴하였으며 GIB FED-II보다 약 3.2배 빨리 수렴한다.

#### 【발명의 효과】

상기와 같이 구성되는 본 발명의 OFDM 시스템의 신호 수신단 및 그 신호 수신방법은 심볼단위로 구성되는 OFDM 시스템의 수신신호로부터 연속적인 데이터를 추출/연산/저장하고 그에 따라 연속적인 심볼의 위상차이를 고려함으로써 랜덤 신

호에 따른 에러를 줄이고 효과적으로 상기 수신신호의 주파수 오프셋을 제거하는 동시에 동기화시키는 에러신호를 생성하는 위상동기루프의 에러탐지기를 통해, OFDM 시스템에서 사용하는 보호구간 데이터 길이로 인하여 상기 OFDM 시스템에서 충분한 성능이 나오지 않거나 상기 OFDM 시스템에서 요구되는 주파수 효율성이 상대적으로 높은 경우 성능이 향상된 OFDM 시스템을 제공할 수 있는 효과가 있다.

## 【특허청구범위】

### 【청구항 1】

심볼단위로 구성되는 수신신호 중 연속되는 데이터를 이용하여 에러신호를 발생시키고 상기 에러신호에 따라 상기 수신신호를 동기화시키는 위상동기루프와; 상기 위상동기루프를 통해 동기화된 신호를 패러럴신호로 변환하는 S/P(Serial/Parallel)변환기와; 상기 S/P변환기를 통해 패러럴신호로 변환된 신호를 푸리에(Fourier) 변환시키는 푸리에 변환수단과; 상기 푸리에 변환수단을 통해 변환된 신호의 진폭과 위상을 변조하는 신호변조수단과; 상기 신호변조수단을 통해 변조된 신호를 시리얼신호로 변환하는 P/S변환기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신단.

### 【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 위상동기루프는 상기 발생된 에러신호에 따라 외부 수신신호의 주파수 옵셋을 제거하는 멀티플렉서와; 상기 멀티플렉서를 통해 주파수 옵셋이 제거된 신호를 디지털신호로 변환하여 상기 S/P변환기로 출력하는 A/D(Analóg/Digital)변환기와; 상기 A/D변환기를 통해 출력되는 상기 수신신호의 연속적인 데이터를 가산하여 상기 수신신호 위상차에 따라 상기 에러신호를 생성하는 에러탐지기와; 상기 에러탐지기에서 생성된 에러신호를 아날로그신호로 변환하는 D/A변환기와; 상기 D/A변환기를 통해 변환된 아날로그신호를 DC로 변환하는 루프필터와; 상기 루프필터를

통해 변환된 DC에 따라 상기 에러신호를 동기화시켜 상기 멀티플렉서에서 상기 수신신호의 주파수 오프셋이 제거되도록 하는 동시에 동기화되도록 하는 VCO(Voltage-Controlled Oscillator)를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신단.

### 【청구항 3】

제 2 항에 있어서,

상기 에러탐지기는 상기 A/D변환기를 통해 출력된 수신신호 중 I-1번째 심볼의 보호구간 데이터와 실제이용 데이터가 가산된 제1 결과값을 저장하는 동시에 상기 제1 결과값이 상기 수신신호의 I번째 심볼의 보호구간 데이터와 실제이용 데이터가 가산된 제2 결과값과 가산된 제3 결과값을 저장하는 적어도 하나 이상의 버퍼를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신단.

### 【청구항 4】

심볼단위로 구성되는 OFDM 시스템의 수신신호 중 연속되는 데이터에 따라 에러신호를 발생하는 제1 단계와; 상기 제1 단계에서 발생한 에러신호에 따라 상기 수신신호의 오프셋을 제거하고 동기화시키는 제2 단계와; 상기 제2 단계에서 동기화된 수신신호의 진폭 및 위상을 변조하여 상기 OFDM 시스템에서 처리 가능하도록 하는 제3 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신 방법.

【청구항 5】

제 4 항에 있어서,

상기 제1 단계는 상기 수신신호로부터 보호구간 신호를 추출하고 연속적인 보호구간의 데이터 및 실제이용 데이터를 가산하여 상기 에러신호를 발생하는 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신방법.

【청구항 6】

제 5 항에 있어서,

상기 제1 단계는 I-1번째 심볼의 L개의 보호구간 데이터와 L개의 실제이용 데이터를 곱하고 가산하여 그에 따른 제1 결과값을 저장하는 저장단계와; I번째 심볼의 L개의 보호구간 데이터와 L개의 실제이용 데이터를 곱하고 가산하여 그에 따른 제2 결과값을 상기 저장단계의 제1 결과값과 가산하는 가산단계와; 상기 가산단계에서 상기 제1 결과값과 제2 결과값이 가산되어 발생된 제3 결과값에 따라 두 개의 연속적 심볼의 위상변화에 따른 에러신호를 발생시키는 에러신호 발생단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신방법.

【청구항 7】

제 6 항에 있어서,

상기 에러신호 발생단계에서 발생하는 에러신호는  $\angle(\cdot)$ 가  $(\cdot)$ 의 각인 경

우 다음 식과 같은 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신방법.

$$e_{LM}(l) = \frac{1}{2\pi T} \angle \left\{ \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{l=1}^L (r_{L-m,N,l} \times r_{L-m,l}^*) \right\}$$

(단, 여기서 상기  $e_{LM}(l)$ 은 상기 L개의 데이터에 따라 발생하는 에러신호를 나타내며, 상기 M은 보호구간의 데이터를 저장하기 위해 사용되는 버퍼의 수를, 상기 N은 상기 실제사용 데이터의 개수를, 상기  $r_{a,b}$ 는 a 번째 심볼의 실제사용 데이터 중 b 번째 데이터를, 상기  $r_{a,b}^*$ 는 a 번째 심볼의 보호구간 데이터 중 b 번째 데이터를 나타낸다.)

#### 【청구항 8】

제 7 항에 있어서,

상기 에러신호 발생단계에서 발생하는 에러신호는 상기 OFDM 시스템의 복잡도와 성능의 상관관계에 따라 보호구간의 데이터를 저장하기 위해 사용하는 버퍼의 수가 2일 경우 다음 식과 같은 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신방법.

$$e_{LM}(l) = \frac{1}{2\pi T} \angle \left\{ \sum_{l=1}^L (r_{L,N,l} \times r_{L,l}^* + r_{L-1,N,l} \times r_{L-1,l}^*) \right\}$$

#### 【청구항 9】

제 6 항에 있어서,

상기 에러신호 발생단계에서 발생하는 에러신호는  $\text{Im}(\cdot)$ 가  $(\cdot)$ 의 허수값인

경우 다음 식과 같은 것을 특징으로 하는 OFDM 시스템의 신호 수신방법.

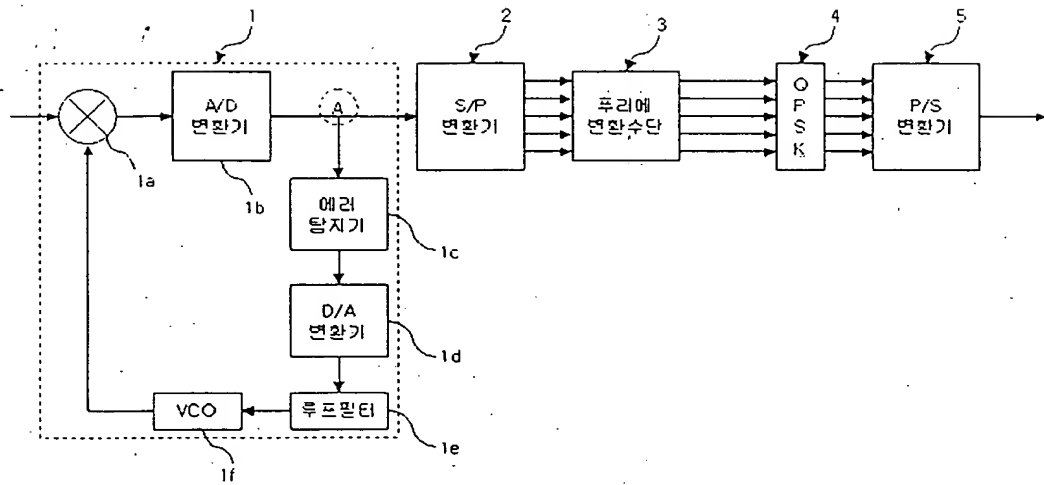
$$e_{2M}(l) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{l=1}^L \text{Im}(r_{l-m,N-l} \times r_{l-m,l}^*)$$

(단, 여기서 상기  $e_{2M}(l)$ 은 상기 L개의 데이터에 따라 발생하는 에러신호를 나타내며, 상기 M은 보호구간의 데이터를 저장하기 위해 사용되는 버퍼의 수를, 상기 N은 상기 실제이용 데이터의 개수를, 상기  $r_{a,b}$ 는 a 번째 심볼의 실제이용 데이터 중 b 번째 데이터를, 상기  $r_{a,b}^*$ 는 a 번째 심볼의 보호구간 데이터 중 b 번째 데이터를 나타낸다.)

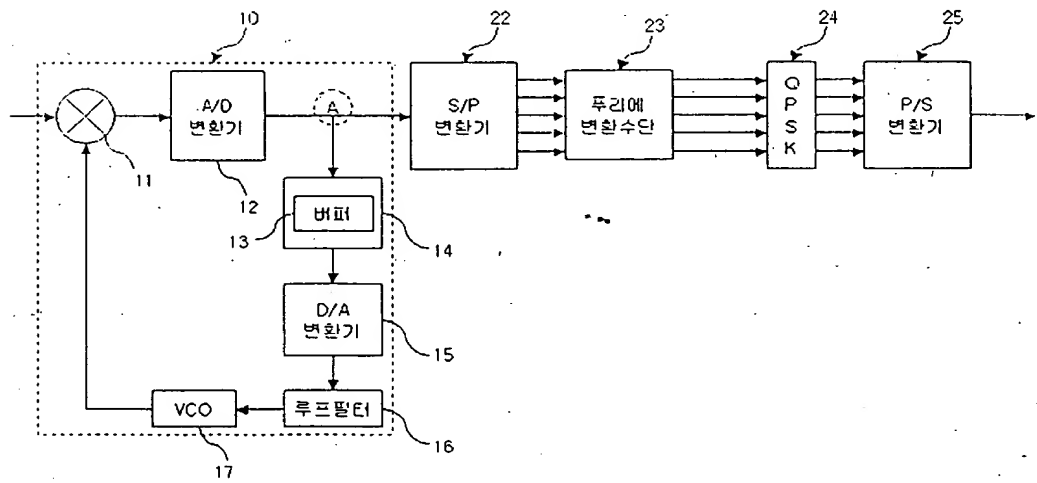


【도면】

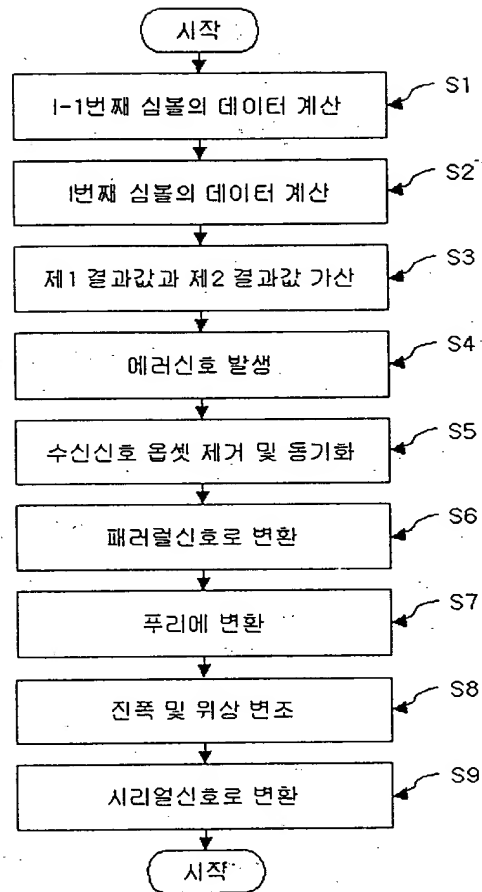
【도 1】



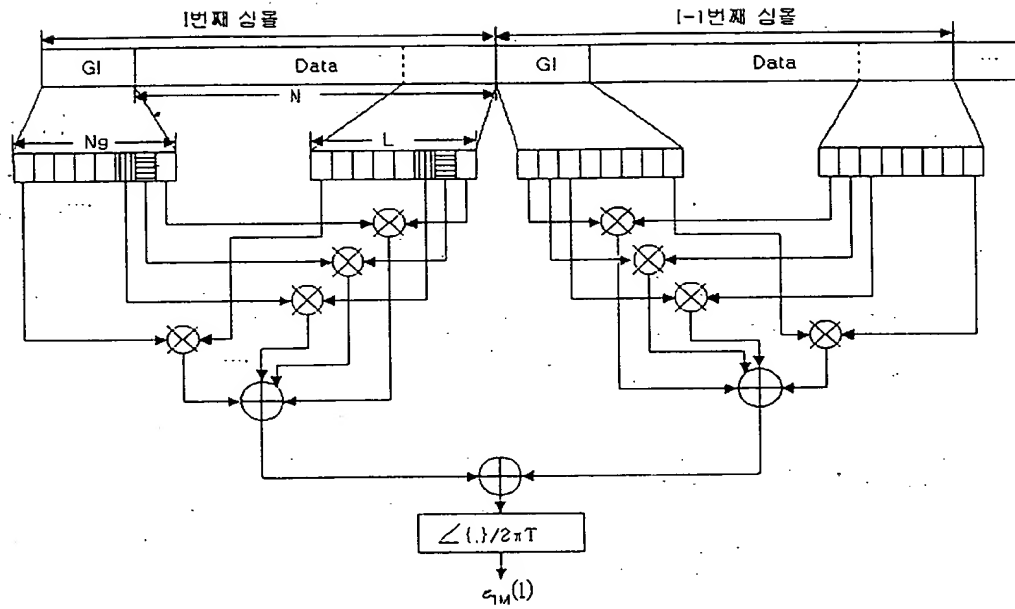
【도 2】



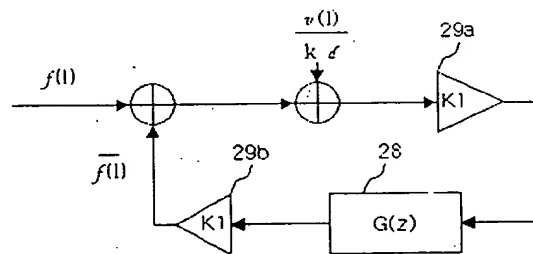
【도 3】



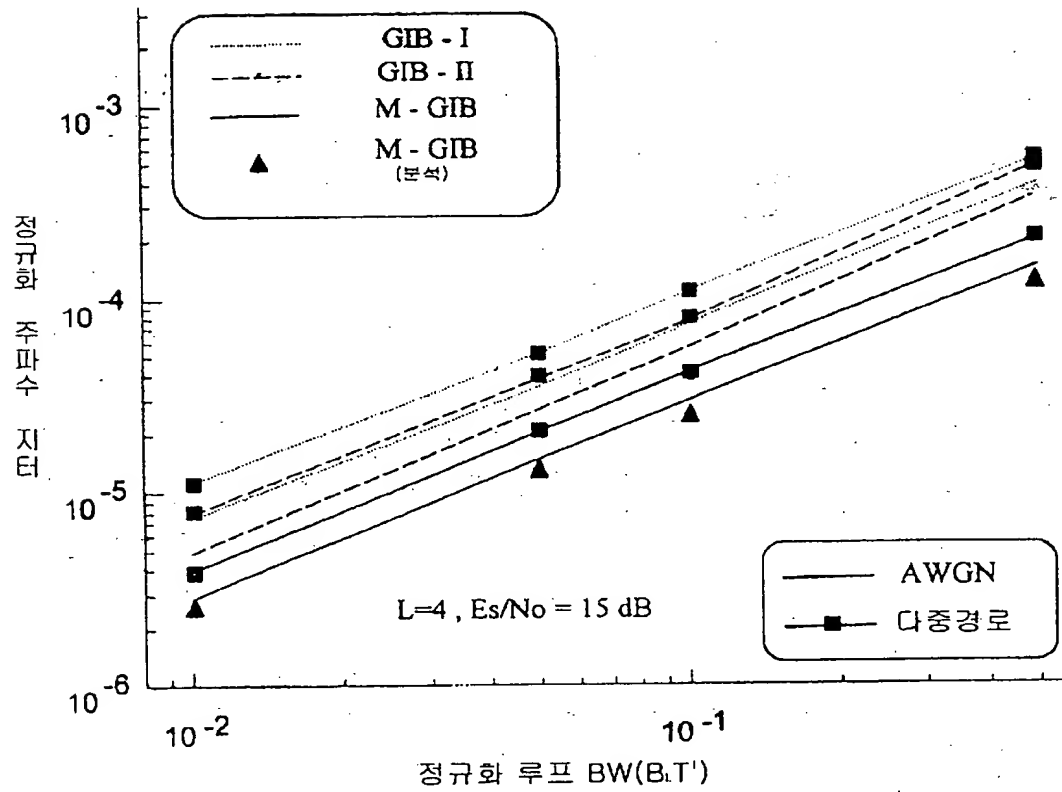
【도 4】



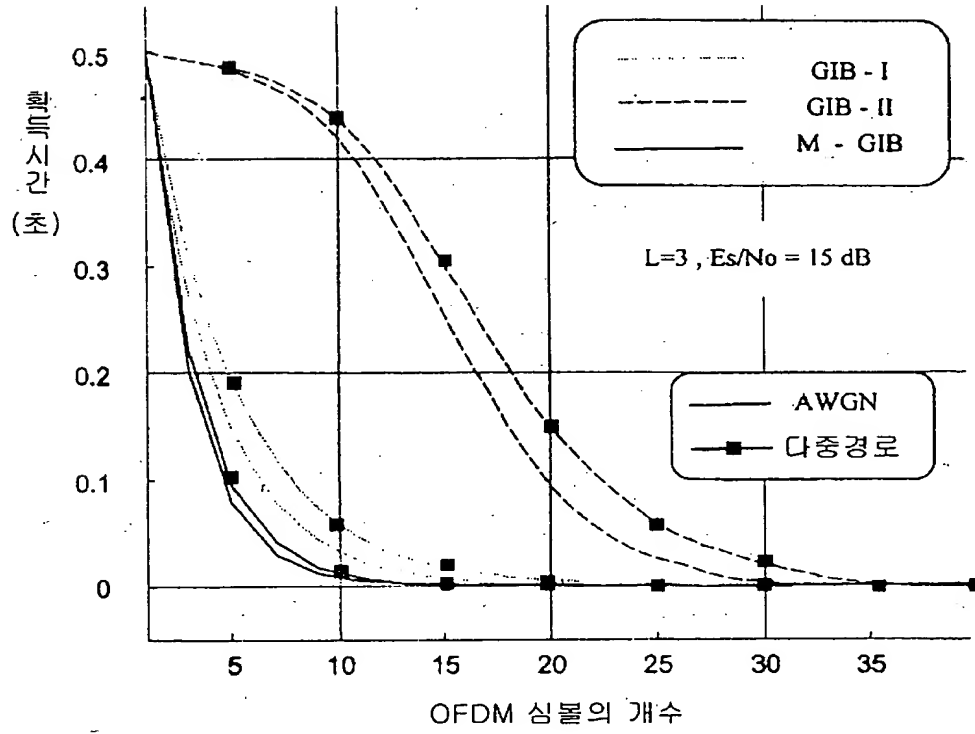
【도 5】



【도 6】



【도 7】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**